

# 単一ドップラーレーダーによる水平発散の推定精度

立 平 良 三\*1・村 田 行 泰\*2・鈴 木 修\*3

## 要 旨

VVP (Volume Velocity Processing) で水平発散を推定する場合、線形風を仮定しているため、非線形性による誤差の評価が不可欠である。この論文ではシアラインを伴った帯状エコー周辺での非線形誤差を評価するため、1989年1月20日に関東地方で観測された2本の帯状エコーについて、鉛直渦度および水平発散の集中したシアラインのモデル風系を設定してシミュレーションを行った。渦度の集中による非線形誤差はシアラインと動径の交差角が小さいほど大きい。水平発散の集中による非線形誤差は渦度集中の誤差と相加される場合もあれば、相殺される場合もある。このシミュレーション結果を利用して補正した水平発散分布によると、レーダーの南方の帯状エコーは収束域 ( $-25 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 程度) に位置していたが、北東の方は発散域 ( $60 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 程度) に位置していた。南方の帯状エコーがその後も強度を持続したのに反し、北東の方は衰弱した。このような帯状エコーの強度変化は、水平発散が発達衰弱の短時間予測に利用できる可能性を示唆する。

### 1. まえがき

水平発散は鉛直速度に密接に関連し、気象学的にも気象業務的にも重要な物理量である。集中豪雨など激しい天気をもたらす中規模現象の解析には、10 km メッシュ程度の細かさで水平発散を知ることが望ましいが、従来のレーウィンゾンデなどの観測データからは無理である。この論文では、1台のドップラーレーダーによって測定された風の動径成分、つまり動径速度データを用いてVVP (Volume Velocity Processing) で水平発散を推定する手法の精度を考察する。VVPでは解析Volume内の風の間が線形と仮定しているため、非線形性に起因する誤差の評価が不可欠である。

この論文では非線形性の大きい事例として顕著なシアラインに伴う帯状エコーをとりあげ、シアラインにおける鉛直渦度と水平発散の集中をモデル化した風系

についてのVVP推定誤差を利用して非線形誤差の解析を行った。また推定された水平発散と帯状エコーの時間変化との関連を調べ、水平発散が帯状エコーの発達衰弱の予測因子として利用できるかどうかを検討する。

### 2. VVPによる水平発散の推定

レーダーの探知範囲内に適当な解析Volumeを設定し、Volume内の風の間を線形と仮定すればVolume内の各点で測定された動径速度 $V_r$ は、各点の座標およびVolume中心における風( $U_0, V_0, W_0$ )や風の空間微分( $U_x, U_y, U_z$ など、添字 $x, y, z$ は微分を表す)に関する11のパラメータで表すことができる。この関係は、Volume中心の風や風の空間微分についての1次式であり、その係数は各点の座標(距離, 仰角, 方位角)によって決まる。各点の $V_r$ はレーダーで測定できるので、これらの1次式は風の空間微分などを未知数とする連立1次方程式と見なすことができる。一般に式の数、つまりVolume中の測定点の数は数百程度と未知数の数より遙かに多いので、最小自乗法によって未知数が推定される(Waldteufel and Corbin, 1979)。

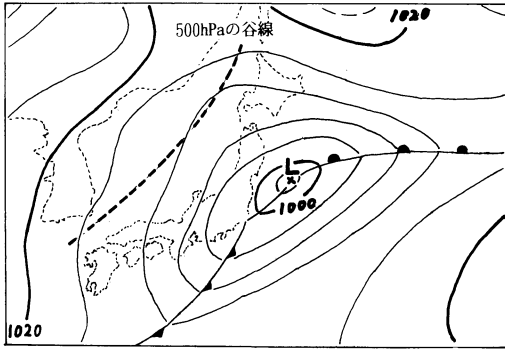
\*1 気象業務支援センター。

\*2 ウェザーニューズSERVVEグループ。

\*3 気象研究所気象衛星・観測システム研究部。

—1997年8月19日受領—

—1997年12月19日受理—



第1図 地上天気図 (1989年1月20日21時).

実際には、幾つかの影響の少ないパラメータを省略して推定を行うことが多い。本論文の場合は主として仰角 $0.6^\circ$ と $1.6^\circ$ のデータを用いており、鉛直風速の動径速度への寄与は極めて小さいので、Volume 中心における鉛直風速 ( $W_0$ ) は省略できる。またその空間微分 ( $W_x, W_y, W_z$ ) も、特に複雑な構造の風系でなければ小さいと考えられるので、残りの7パラメータ ( $U'_0, V'_0, U_x, U_z, V_y, V_z, U_y+V_x$ ) について VVP による推定を行い、 $U_x$ と  $V_y$ から水平発散を求めることにした。

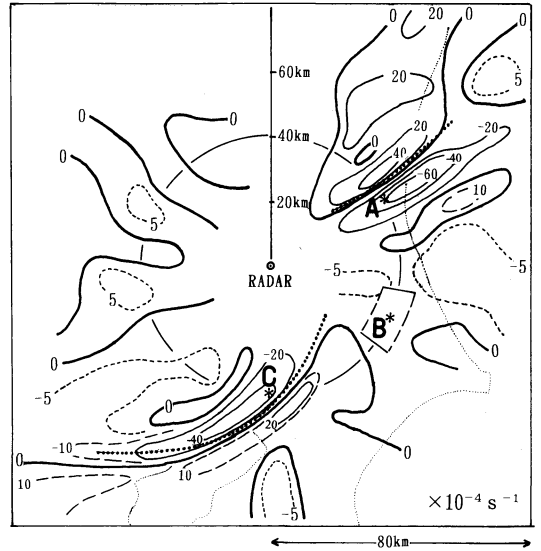
ダッシュのついたパラメータ ( $U'_0, V'_0$ ) は、(1) 式のように ( $U_0, V_0$ ) に鉛直渦度  $\xi$  と Volume 中心の座標に關係する項が付加されたものである。ここで、 $X_0, Y_0$  はレーダーから見た Volume 中心の  $x$  座標、 $y$  座標である。

$$\begin{aligned} U'_0 &= U_0 + 1/2(Y_0\xi) \\ V'_0 &= V_0 + 1/2(X_0\xi) \end{aligned} \quad (1)$$

線形場の仮定が成り立つとすれば、 $U_x$ や  $V_y$ など7パラメータの標準誤差は測定データのランダム誤差により生ずるものであり、多変量解析の理論により(2)式の共分散行列  $C(7 \times 7)$  の対角線要素の平方根で求められる (Koscielny *et al.*, 1982)。

$$C = G^{-1}s^2 \quad (2)$$

ここで、 $s^2$  は Volume 内の各  $V_i$  測定点における最小自乗法の残差の分散であり(第4節参照)、 $G$  は風の空間微分などでドップラー速度を表現する式の係数 (Volume 内の各測定点の座標) から作られる行列 ( $7 \times 7$ ) とその転置行列の積である。実際の誤差にはこの他に、Volume 内の風の非線形性に起因する誤差が加わ



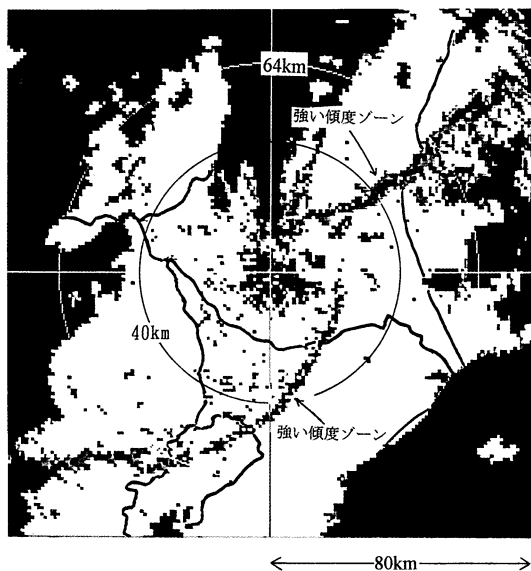
第2図 VVPによって推定された水平発散分布 (仰角 $0.6^\circ$ と $1.6^\circ$ , 1989年1月20日20時27分). 太点線は仰角 $0.6^\circ$ のシアライン中心線の位置を示す (第3図参照).

ることになるが、Koscielny *et al.* (1982) は非線形誤差の評価には言及していない。

### 3. 帯状エコーに伴う水平発散場の推定

非線形性の大きい事例として選んだのは顕著なシアラインを伴った帯状エコーで、1989年1月20日21時(日本標準時)前後に気象研究所の5.7 cm 波ドップラーレーダーで観測したものである (以後すべて日本標準時)。この時の総観場は、第1図のように日本の東海上に発達中の低気圧があり、中心から伸びる寒冷前線が関東地方を南下中といった状況であった。また、日本海には500 hPaの谷があり、関東地方はその前面に位置し、対流圏中層では南西風が卓越していた。動径速度データの取得は、仰角 $0.6^\circ, 1.6^\circ, 2.9^\circ, 4.5^\circ, 6.5^\circ, 9.3^\circ, 12.7^\circ, 16.8^\circ$ および $24.8^\circ$ で行われた。VVP解析のVolumeサイズは、距離方向10 km、方位角幅は約 $25^\circ$ に設定し、鉛直方向には隣接する2つの仰角のデータを用いた。

第2図は20時27分の動径速度データ (仰角 $0.6^\circ$ および $1.6^\circ$ ) を用いて探知範囲内の各 Volume について水平発散 ( $U_x+V_y$ ) を計算し、等値線をひいたものである。レーダーサイトの北東と南に顕著な収束帯 ( $-40 \sim -60 \times 10^{-4} s^{-1}$ ) とそれに接する発散帯 ( $20 \sim 40 \times 10^{-4}$



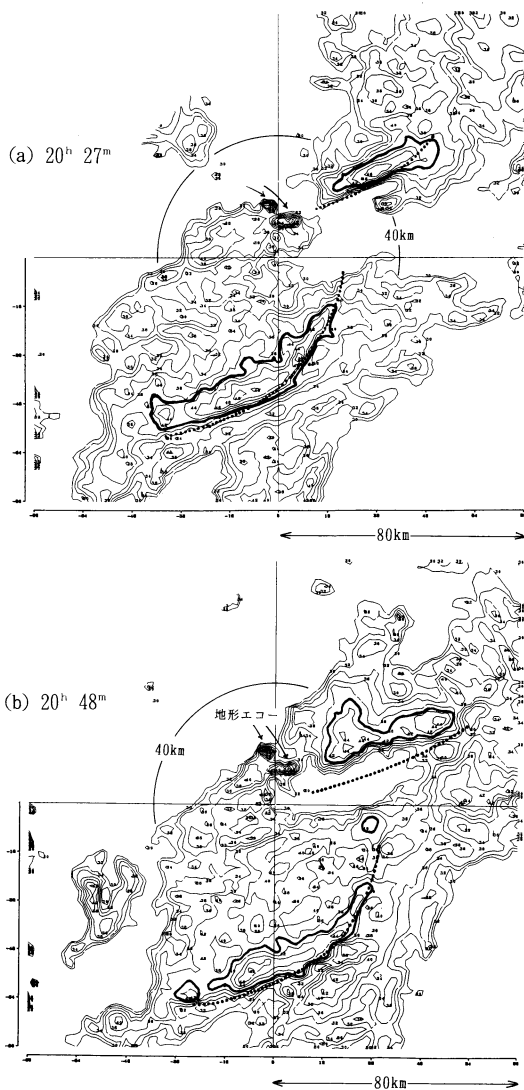
第3図 動径速度の傾度の分布(仰角0.6°, 1989年1月20日20時27分).

$s^{-1}$ ) が解析されている. ビーム高度から見て, この収束発散分布は高度0.6km(距離30 km)から高度1.4 km(距離60 km)あたりの状況を示すものと考えられる.

第3図は仰角0.6°の動径速度分布を動径方向および方位角方向に微分し, その絶対値の和(動径速度傾度の絶対値)を示したもので, 白地のエコー域の中に  $2 ms^{-1}km^{-1}$ 以上の傾度域が黒で表示されている. 風のシアの絶対値は動径速度傾度の絶対値より大きいと考えられるので, 第3図でレーダーサイトの北東と南に認められる幅5 km程度の強い傾度のゾーンは顕著なシアラインに伴うものと考えられる.

これらのゾーンはこのあと21時27分の観測終了まで持続したことが確認され, 移動速度は共に南東へ約  $40 km h^{-1}$ であった. 仰角を1.6°に上げると, この強い傾度ゾーンは幅約15 kmに拡大するが, その南東の縁は0.6°の位置とほとんど変わらない. つまり仰角を上げると強い傾度ゾーンは進行方向の後側に拡大するわけである.

この強い傾度ゾーンの仰角0.6°における位置は第2図の2本の太点線のように収束帯と発散帯の境界にほぼ一致していた. また第4図(a)のエコー強度分布には2本の強い帯状エコー(最大強度48 dBZ)が認められるが, 仰角0.6°の強い傾度ゾーンはこの帯状エコーの前縁にほぼ一致している. 第1図によれば, この帯状エコーは関東地方を南下する寒冷前線の中のメソ構



第4図 シアラインに伴うエコーの強度分布(仰角1.6°, 1989年1月20日). 実線は30 dBZから2 dBZごとの等値線(太実線は40 dBZ), 太点線は仰角0.6°のシアライン中心線の位置を示す.

造に伴うものと考えられる.

第2図を解析するのに用いた各 Volume について水平発散 ( $U_x + V_y$ ) の推定誤差を(2)式によって計算してみると, それらはほとんどが  $2 \times 10^{-4} s^{-1}$ 以下であるが, シアライン近辺の水平発散の値の大きい領域では  $5 \times 10^{-4} s^{-1}$ に達する所もある.

#### 4. 風の場の非線形性に起因する誤差

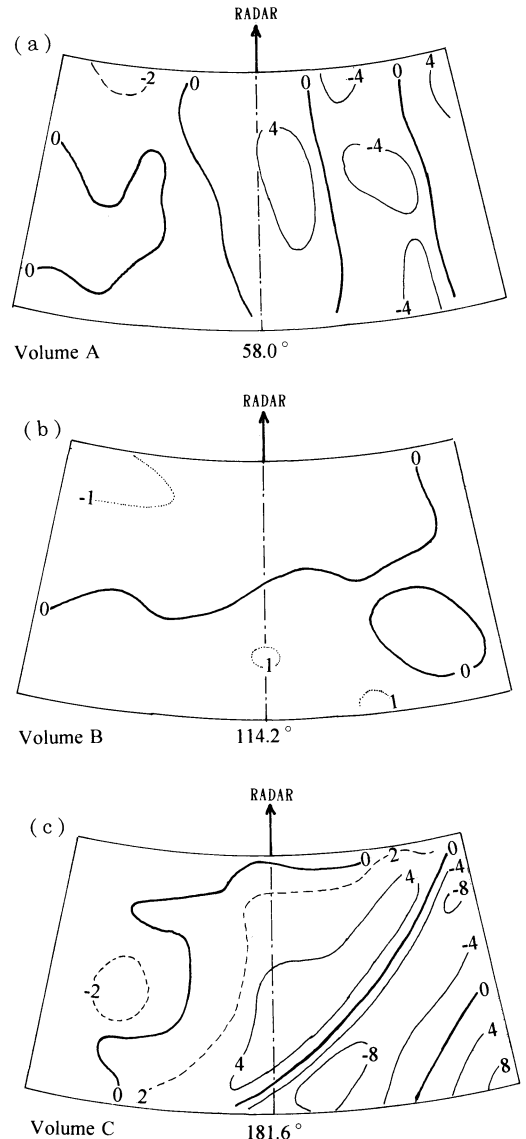
非線形場に起因する誤差を見積もるため、次のような考察を試みた。「Volume内の風場が線形」という仮定が本当に成り立っていれば、Volume内の各点における動径速度は、VVPで求めた風のパラメータ ( $U_0, V_0, U_x, U_z, V_y, V_z, U_y + V_x$ ) と各点の座標 (距離, 仰角, 方位角) から計算できる。もし風場に非線形成分があれば、計算された動径速度は観測された動径速度とは異なった値になるはずで、両者の差つまり最小自乗法における残差である。この残差のVolume内における分散が(2)式の $s^2$ である。もっとも、動径速度の観測値はランダムな誤差を含んでいるので、Volume内の各点における残差がランダムに分布しているようなら、それは非線形性によるものでなく、ランダム誤差に起因するものである。

第5図の(a)と(c)は北東と南のシアラインを跨いで設定したVolume AとC(第2図の\*印参照)における残差(仰角 $0.6^\circ$ )の分布を示したものである。Volumeの中心は共にレーダーから40 kmの距離にある。残差はVolume Aでは最大 $4 \text{ ms}^{-1}$ 、Volume Cでは最大 $8 \text{ ms}^{-1}$ に達し、しかもVolume内でのシアラインの走向にほぼ平行した系統的な縞状の分布を示している。非線形性の存在は明らかである。なお、Volume AおよびCにおける水平発散のVVP推定値はそれぞれ $-50 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ および $-45 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、残差のRMS(Root Mean Square)は $4 \text{ ms}^{-1}$ および $5 \text{ ms}^{-1}$ であった。

一方、シアラインを含まないVolume B(第2図\*印参照)における残差は、第5図(b)に示すように最大 $1 \text{ m s}^{-1}$ 程度と小さく、また目立った偏りは認められない。仰角 $1.6^\circ$ におけるVolume A, B, C内の残差の分布も仰角 $0.6^\circ$ の場合とほぼ同様の状況を示しており、Volume AとCについては、風の場の非線形性に起因する誤差の大きいことが予想される。

#### 5. 鉛直渦度の集中するシアラインのモデル風系

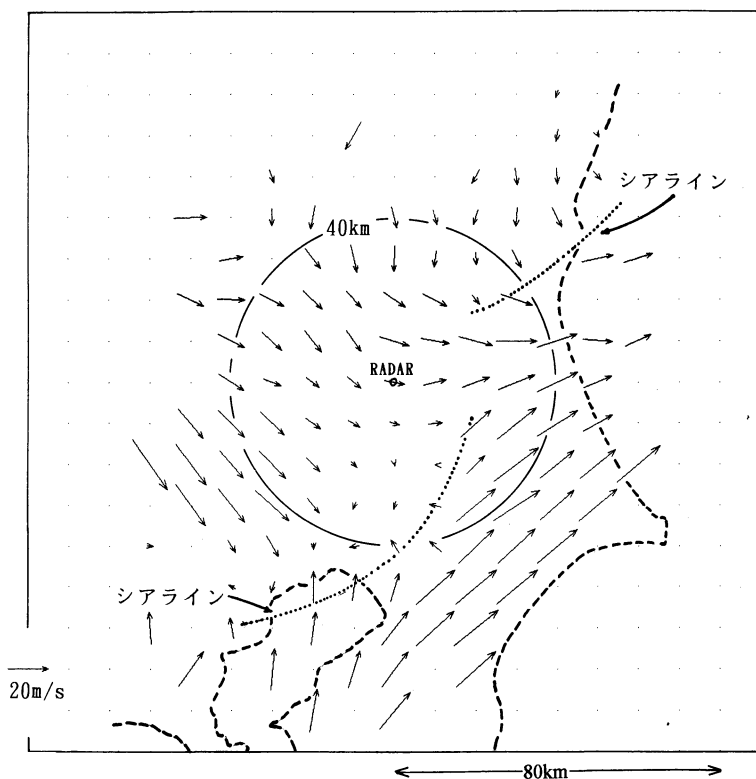
シアラインに伴う風の場の非線形性を考察する場合、シアラインで風ベクトルがどう変化しているかを知る必要があるが、VVPでは(1)式の示すように、Volume中心における風( $U_0, V_0$ )そのものは推定できず、推定値は渦度に関する項を含んだものになる。しかし、VVPにおける仮定「解析Volume内で風が線形」を「解析Volume内で風が一様」と簡略化すれば( $U_0, V_0$ )が推定できる。これを簡略化VVPと呼



第5図 Volume A, B, C(第2図参照)における最小自乗法の残差の分布(仰角 $0.6^\circ$ )。単位は $\text{ms}^{-1}$ 。

ぶことにする。立平・鈴木(1994)はこの手法で関東地方の各高度における風向風速を10 kmメッシュ程度の分解能で推定し、航空機による風観測と比較して実用的な精度があることを示した。

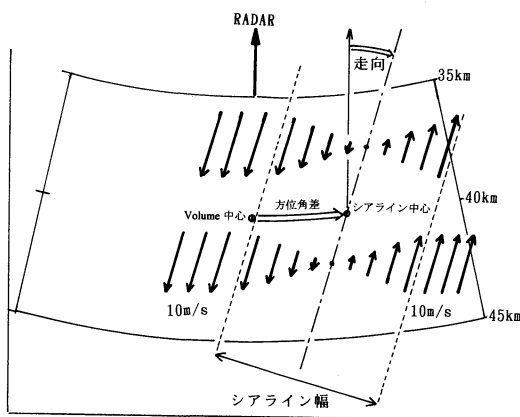
第6図は、Volume内にシアラインを含む場合でも風推定の誤差を抑制するよう改善した簡略化VVP(立平ほか, 1995)によって推定された風場(高度1 km)である。レーダーサイトの北東と南に明瞭なシア



第6図 簡略化 VVP 法による高度 1 km の推定風ベクトル (1989年 1月20日 20時27分).

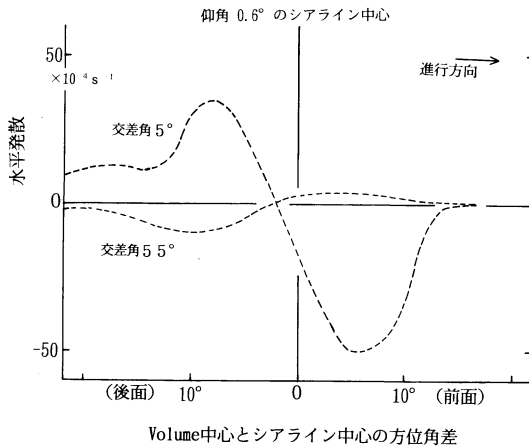
ラインが認められる。それらの両側でシアラインに平行な風成分が大きく変化しており、距離40 km 付近では約 $20 \text{ ms}^{-1}$ にも及んでいる。この平行成分は水平発散には寄与しないが、渦度の鉛直成分を生じさせる。シアラインにこのような鉛直渦度が集中し風の場の非線形性が大きくなると、VVP による水平発散推定にどのような影響があるかをシアラインに平行な風で構成されたモデル風系を用いたシミュレーションで調べてみた。第7図はこのモデル化した風系を図示したもので、実際のシアラインに合うようその走向、幅、Volume 中心との距離（方位角差）を調整できるようにしてある。

第6図の推定風は10 km メッシュで平滑化されて表現されており、またシアライン付近では風ベクトルの推定誤差が大きくなる傾向がある。それ故、モデル化シアラインの幅については、第3図の強い傾度ゾーンの幅を参照して仰角 $0.6^\circ$ では5 km、仰角 $1.6^\circ$ では15 km とし、風の平行成分はこの幅内でリニアに変化し



第7図 鉛直渦度の集中したシアラインをモデル化した風系。

ているものとした。また仰角 $1.6^\circ$ のシアラインの位置は、強い傾度ゾーン的位置を参照して、仰角 $0.6^\circ$ のシアラインの後方（進行方向に対し）にずらしてある。こ



第8図 VVPにより推定した、モデル風系(第7図)の水平発散。シアライン中心(仰角 $0.6^\circ$ )とVolume中心との方位角差によって正弦曲線的に変動する。モデル風系は本来は非発散であるから、この図に示される水平発散は、集中した鉛直渦度に起因する推定誤差を意味する。Volume AおよびVolume C内におけるシアラインと動径の交差角に合わせて、交差角 $5^\circ$ および $55^\circ$ の場合を示してある。

のように設定すると、仰角 $0.6^\circ$ では $-40 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 、仰角 $1.6^\circ$ では $-13 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ の鉛直渦度がシアライン幅内に存在することになる。

このモデル風系の動径速度分布に第2図と同じ大きさのVolume(距離方向10 km, 方位角幅 $25^\circ$ )を適用し、Volume中心とシアライン中心の方位角差を少しずつ変えながらVVPで水平発散を計算すると、第8図のようになる。この図の横軸は、仰角 $0.6^\circ$ のシアライン中心を原点にとってVolume中心が進行方向の前面あるいは後面にどれくらいズレた位置にあるかを示している。

この図では、Volume AおよびVolume C内でシアラインが動径と交わる角度に合わせて、交差角 $5^\circ$ および $55^\circ$ の場合を示してある。交差角 $5^\circ$ の場合、本来は非発散の場合にもかかわらず大きな水平発散が計算されている。これはつまり風の場の非線形性に起因する誤差である。この誤差は図に見られるように、シアライン中心とVolume中心との方位角差によって正弦曲線的に変化する。交差角が大きくなるほど誤差が小さくなり、交差角が $90^\circ$ 、つまりシアラインが動径方向に直交するときは誤差はほとんど0となる。

Volume Cに対応する交差角 $55^\circ$ の場合でも、曲線の

振幅はかなり小さくなっている。ただし、Volume Aではシアラインは方位角の増加する方向に進行しているが、Volume Cでは逆に減少する方向に進むので、第8図のようにシアラインの進行方向に合わせて描くと曲線の位相が逆になる。

どちらの交差角の場合もVolume中心がシアラインのやや後側(進行方向に関して)を通っているときは水平発散(つまり誤差)はほとんどなく、従ってVVPによる水平発散推定への影響はほとんどない。やや後ろ側で誤差が無くなるのは仰角 $1.6^\circ$ のシアラインが後ろ側へ傾いているため、傾きが無ければ仰角 $0.6^\circ$ のシアライン中心の位置で誤差が0になるはずである。

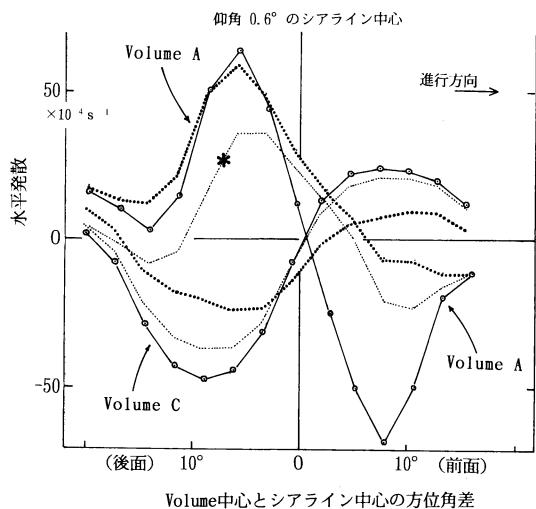
最大の誤差はシアラインがVolumeの中心と端との中間に位置するときを生ずる。ちなみに、シアラインの両側の風を、鉛直渦度の値を変えずに例えば、 $0 \text{ ms}^{-1}$ と $20 \text{ ms}^{-1}$ にしても結果は全く同じである。また図には示していないが、シアラインを挟んでの風速の平行成分の差を半分にするれば、図の曲線の振幅もほぼ半分になる。

第8図と比較するために、第2図のVolume AおよびVolume Cを少しずつ方位角方向にずらしてシアライン中心に対するVolume中心の方位角を変え、実測の動径速度を用いて水平発散を計算すると第9図の実線のようにになる。Volume AとCでは共に正弦曲線的な変化を示すが、位相は逆になっている。振幅はVolume Aの方が大きく、 $50 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ を越える。

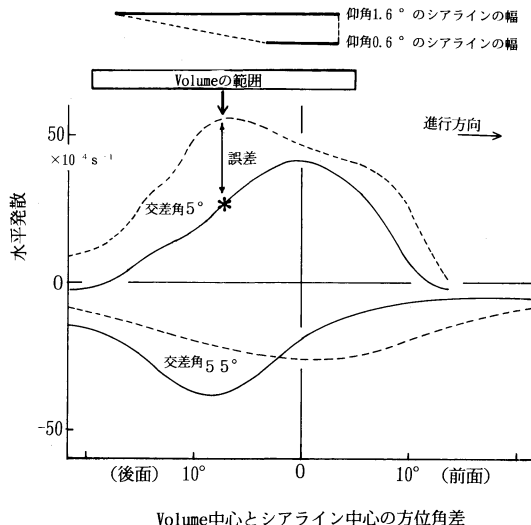
第9図の実線は、鉛直渦度の集中による非線形誤差を含んでいる。第8図に示される水平発散は、実際のシアラインに伴う風系(第6図)および動径速度の傾度分布(第3図)を参照し、できるだけ実際の鉛直渦度の集中に合うよう構成されたモデル風系によるものであるから、渦度集中による誤差を近似するものと考えられる。従って第9図の実線から、第8図の水平発散(破線)を差し引いて得られる第9図の細点線では、近似的に渦度集中による誤差は除かれていると考えることができる。Volume Aの細点線の場合は、実線に比べ特に進行前面の発散が弱められ、また位相も少し前へずれている。Volume Cの方も振幅がやや減少しているが、位相の変化はほとんど認められない。

## 6. 水平発散の集中するシアラインのモデル

第9図の細点線で示される水平発散では、シアラインに集中する鉛直渦度による非線形誤差は近似的に除



第9図 Volume A および C の中心の方位角をずらし、シアラインとの相対位置を変えて実測の動径速度データから推定した水平発散(実線)。細点線は、第8図の鉛直渦度集中による誤差を補正したもの、太点線はさらに第10図の水平発散集中に起因する誤差を補正したものを示す。\*印は第10図の上部に図示してある仰角0.6°および1.6°のシアライン幅をちょうど含む Volume の中心位置を示す。



第10図 VVPによって推定した、モデル風系(水平発散集中)の水平発散(実線)。推定誤差を知るために、モデル風系の真の水平発散値(Volume内の平均値)を破線で記入してある。\*印は第9図と同じVolume中心の位置を示す。

かれていると考えられるが、水平発散そのものもシアラインに集中して存在しているはずなので、そのために生ずる非線形誤差を見積もる必要がある。そこで、第7図に示す鉛直渦度の集中したモデル風系を水平発散が集中している風系に変えて(つまり第7図のシアラインに平行な風向をシアラインに垂直な風向に変えて)シミュレーションを試みた。ただし、シアラインの両側でどれくらいの垂直風速差を与えたら実際のシアラインにおける水平発散集中を近似できるかは第6図からは判断しにくいので、とりあえず第7図の平行風速差と同様に $20 \text{ ms}^{-1}$ として計算した。

このようなモデル風系の動径速度を用いて、シアライン中心とVolume中心の方位角差を変えながらVVPにより水平発散を推定した結果を、真の値(破線)と共に第10図の実線で示す。ここで真の値としては、モデル風系から計算したVolume内の平均水平発散を用いた。動径との交差角が小さい場合は、この図の交差角5°の線の示すように推定は過小評価となり、交差角が直角に近い場合は、過大な推定になる(図省略)。中間の交差角の場合は、第10図の交差角55°の線の

示すように、進行前面で過小な推定、後面で過大な推定になる。

交差角5°(Volume A)の場合、図中の矢印を中心とするVolumeは、図の上部に図示してあるように仰角0.6°および1.6°のシアライン幅をちょうど含む位置にあり、\*印の値はシアラインに集中した水平発散をVVPで推定したものである。一方、実際のシアラインについてVVPで推定した水平発散は第9図に示されているが、この図の細点線では鉛直渦度集中の誤差は除かれていると考えられるので、第10図の\*印と同じVolumeで推定した値(第9図の\*印)はやはり水平発散の集中による誤差のみを含んだものと考えられる。従って第9図の\*印の水平発散量と第10図の\*印のそれとはほぼ同じ値になるはずであり、シアラインの両側の風速差 $20 \text{ ms}^{-1}$ として計算した第10図の水平発散の目盛りは両者が同じ値になるように付け変えてある。交差角55°(Volume C)についても、同じ考え方で目盛りを付けてある。

第10図によると、\*印の推定値は破線までの分の誤差を含むことが示されているので、第9図の\*印の値からこの誤差分を差引けば水平発散集中に起因する非線形誤差が取除ける。Volume内に部分的にシアライ

ンが存在する場合でも、シアライン領域外では風は線形風でよく近似でき非線形誤差は生じないと考えられるので、やはり第10図に示される分だけの非線形誤差(破線と実線の差)を含むことになり、これを差引けば水平発散集中の影響を取り除くことができる。その結果は第9図の太点線のようになり、これが非線形誤差を含まないシアライン周辺の水平発散分布と考えることができる。

以上のような操作で、1989年1月20日の帯状エコーについて、VVPによる水平発散推定に伴う非線形誤差を見積もり、これを差し引いて実際の水平発散分布を推定することができた。この推定の確からしさは、シアラインのモデル風系(第7図)がどの程度実際の風系を近似しているかに依存するが、この事例は比較的モデル化しやすい風系であり、推定にはかなり信頼性があると考えられる。ただし、これは実際の水平発散分布を10 km×25°のVolumeごとに移動平均したものであることに注意する必要がある。

## 7. 考察

1台のドップラーレーダーの動径速度データからVVP(7パラメータ)によって水平発散を推定する手法を顕著なシアラインを伴う帯状エコーに適用し、風の場の非線形性に起因する誤差を検討した。非線形性が大きいシアライン周辺における推定誤差を評価するため、シアラインをモデル化した風系を設定してシミュレーションを行った。その結果、渦度の集中に起因する非線形誤差は特にシアラインの走向が動径方向に近い場合に大きく、最大 $50 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ にも達することが明らかにされた。しかし、走向が動径に直交する場合は誤差はほとんど生じない。水平発散の集中に起因する非線形誤差はどの走向でも存在するが、渦度集中による誤差と相加される場合もあれば、相殺される場合もある。

第9図のVolume Aの場合、後面の発散域では誤差が相殺されて、実線(VVP推定値)と太点線(誤差補正後)の間にあまり差がない。一方、前面の発散域では相加されて、VVP推定による $-70 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ にも達する収束域(実線)は $-10 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 程度(太点線)に補正されている。Volume Cの方は、収束も発散も2倍以上過大に推定されているが、位相のズレは小さい。

もちろんこのような水平発散推定の妥当性は、シミュレーションに用いたモデル風系がどの程度実際のシアライン風系を近似しているかに依存するが、この

事例は比較的モデル化しやすい風系と考えられる。シアライン周辺の風系は2次元性が高いので、距離40 km付近でのこのような結果は、前後の距離にも適用可能と考えられる。第2図に表現された顕著な収束・発散帯に同じような修正を加えることによって、シアラインに伴う水平発散分布の全体像を把握することができる。

修正後のシアライン周辺の水平発散分布(第9図の太点線)を第4図aと比較すると、南のシアライン(Volume C付近)では収束域( $-25 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 程度)が強い帯状エコーと一致していたが、北東のシアライン(Volume A付近)では、帯状エコーは強い発散域( $60 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 程度)に位置していることが分かる。第4図bはこの時刻から21分経過後のエコー強度を示しているが、南の帯状エコーがその強度を持続しているのに反し、北東の帯状エコーは衰弱し、シアラインに伴って30 dBZ以上のエコーは存在しないことがわかる。このような帯状エコーの強度変化は、水平発散が発達衰弱の短時間予測に利用できる可能性を示唆する。

一般に、VVPによる水平発散推定は、大きな非線形誤差を伴う可能性があるが、この論文では、風系の非線形性を動径速度の傾度やVolume内の残差の分布などで検知し、シミュレーションなどの手段で誤差の評価が可能な場合のあることを例示した。また、Volume中心とシアライン中心が一致する場合など、誤差が小さくなる条件についての知見も得ることができた。

石原(1991)は、帯状エコーに伴う風系のように流れの2次元性が高い場合、動径速度の動径方向微分が水平発散場をかなり表現できることを示し、特に風向が動径方向に近いとき精度が高いとしている。VVPではVolumeをあまり小さくできないので10 kmメッシュ程度の粗さの水平発散分布しか得られないが、動径方向微分の場合は、レーダーの空間分解能に近い細かさで求められる。風の場の状況に応じて、これらの推定手法を使い分ければ、単一ドップラーレーダーでもメソ解析に有用な水平発散分布を実用的な精度で求められる可能性があり、また推定誤差について少なくともオーダーは見積もることが可能と思われる。

## 参考文献

- 石原正仁, 1991: 1台のドップラーレーダーによる大気下層の水平発散の検出, 天気, 38, 157-167.



Koscielny, A. J., R. J. Doviak and R. Rabin, 1982 : Statistical considerations in the estimation of divergence from single-Doppler radar and application to prestorm boundary-layer observations, *J. Appl. Meteor.*, **21**, 197-210.

立平良三, 鈴木 修, 1994 : 単一ドップラーレーダーによる上層風推定の精度, *天気*, **41**, 761-764.

立平良三, 笠原塔子, 鈴木 修, 1995 : 単一ドップラーレーダーによる上層風推定の誤差特性と精度改善, *天気*, **42**, 773-777.

Waldteufel, P. and H. Corbin, 1979 : On the analysis of single-Doppler radar data, *J. Appl. Meteor.*, **18**, 532-542.

## Accuracy in Estimating Horizontal Divergence from Single Doppler Radar

Ryozo Tatehira\*<sup>1</sup>, Yukiyasu Murata\*<sup>2</sup> and Osamu Suzuki\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> (*Corresponding author*) *Meteorological Business Support Center, Tokyo 101-0054, Japan.*

\*<sup>2</sup> *SERVVE Group, Weathernews INC.*

\*<sup>3</sup> *Meteorological Research Institute.*

(Received 19 August 1997 ; Accepted 19 December 1997)



### 1998年度日本水文科学会学術大会・総会のお知らせ

1. 大会期日 : 1998年6月20日(土)~21日(日) 懇親会費 5,000円(大学院・学部学生  
3000円)
2. 大会会場 : 三重大学講堂三翠ホール  
〒514-8507 三重県津市上浜町1515
3. 大会日程 : 6月20日(土) 10:00~19:00  
一般発表, シンポジウム, 総会, 懇談会  
6月21日(日) 10:00~16:00  
一般研究発表, WG 研究発表
4. 大会費用 : 参加費 1,000円(大学院・学部学生  
500円)  
予稿集代 2,000円
5. 連絡先  
〒305-8571 茨城県つくば市天王台1-1-1  
筑波大学地球科学系  
日本水文科学会事務局 嶋田 純  
TEL/FAX : 0298-53-2368

\* 詳しいプログラムなどは決定次第学会ホームページ (URL : <http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/jahs/index.html>) に掲載されます。